

3. Liso V., Nielsen M. P., Kær S. K. // Sustainable J. Energy Technologies and Assessments. 2014. № 8. P. 99–108.
4. Baskakov A. P., Volkova J., Plotnikov N. S. Optimum chemical re-generation of the gases burnt in solid oxide fuel cells // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2014. Vol. 87. № 4. P. 763–772.
5. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. 3-е изд., пер. М. : Энергоатомиздат, 1989. 352 с.
6. Yinhai Zhu, Wenjian Cai, Changyun Wen, Yanzhong Li. Fuel ejector design and simulation model for anodic recirculation SOFC system // Journal of Power Sources. 2007. № 173. P. 437–449.
7. САЕ-система ANSYS [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ansys.com/> (дата обращения 07.02.2017).
8. Денисов М. А. Разработка учебно-справочного комплекса проектного моделирования в пакете ANSYSWorkbench // Создание высокоэффективных производств на предприятиях горно-металлургического комплекса.— Екатеринбург : Уральский рабочий, 2013. – С. 95–96.
9. Gnani F., Zare-Behtash H., Kontis K. Pseudo-shock Waves and their Interactions in High-speed Intakes // Progress in Aerospace Sciences. 2016. Vol. 82. P. 36–56.

УДК 533.17; 62-832

РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЖЕКТОРА ДЛЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ТОТЭ: ХОЛОДНЫЕ ГАЗЫ

COMPUTATION OF THE EJECTOR CHARACTERISTICS FOR THE SOFC POWER UNIT: COLD GASES

Ершов М. И., Чойнзонов Д. Б., Дизер М. Г., Тарасов С. С.,
Щербинин К. А., Мунц В. А.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
mikhail.ershov@urfu.ru

Ershov M. I., Choynzonov D. B., Dizer M. G., Tarasov S. S.,
Scherbinin K. A., Munts V. A.

Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе представлено два метода расчёта характеристики эжектора: численный и аналитический.

Характеристики эжектора для рециркуляции анодных газов в составе энергоустановки на твёрдооксидных топливных элементах были рассчитаны по обоим методикам. Полученные результаты позволяют грамотно спланировать эксперименты по снятию характеристики такого аппарата при комнатной температуре газов на входе.

Abstract: The article describes two methods of the ejector characteristics computation: numerical and analytical. The characteristics of the ejector for anode gas recirculation in the SOFC power unit were obtained by both methods. The results are instrumental for experimental characteristics determination with inlet flows at the ambient temperature.

Ключевые слова: топливный элемент; характеристика эжектора; вычислительная гидрогазодинамика.

Keywords: fuelcell; ejector characteristics; CFD.

Как известно, эжекторы применяются в самых различных сферах, например, в холодильной технике для создания вакуума и рециркуляции газов, а также в авиации для увеличения тяги двигателей воздушных судов [1]. Научным сообществом были предприняты большие усилия для определения их оптимальных геометрических параметров и режимов работы [2, 3]. Построение характеристики эжектора необходимо для моделирования его работы в составе технологической установки. В нашей работе рассматривается эжектор (рис. 1) для рециркуляции анодных газов в составе энергоустановки на твёрдооксидных топливных элементах.

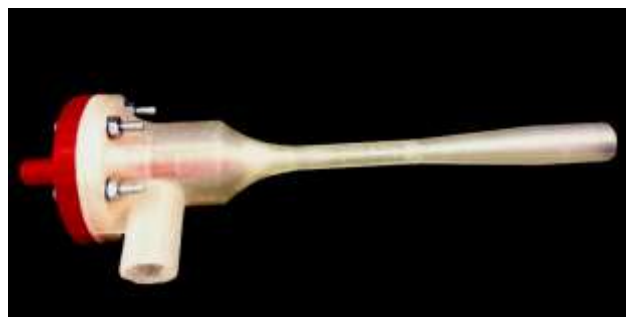
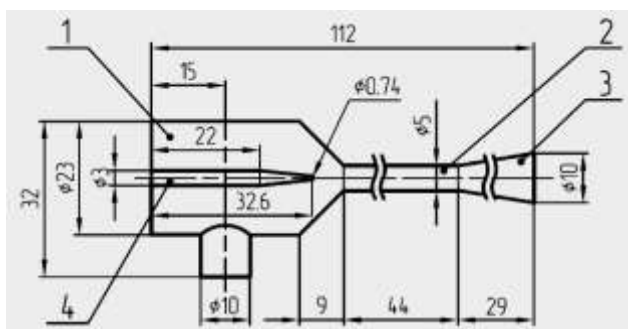


Рис. 1. Геометрия проточной части (слева) и макет (справа) эжектора
1 – всасывающая камера; 2 – камера смешения; 3 – диффузор; 4 – рабочее сопло

Характеристика эжектора связывает давление на выходе из диффузора с коэффициентом эжекции аппарата. Она строится при постоянных термодинамических параметрах входных потоков и показывает, как меняется режим работы эжектора при различном противодавлении у потребителя [4].

В работе рассчитывается характеристика работы эжектора на холодных газах. В сопло входит силовой поток азота при температуре 20 °С и абсолютном давлении 2 бар. Снизу во всасывающую камеру увлекается эжектируемый поток воздуха при температуре 20 °С и абсолютном давлении 1 бар.

Семь режимов работы эжектора было смоделировано в программе AnsysFluent [5, 6] (рис. 2). Расчёты были основаны на решении уравнений Навье-Стокса для сжимаемого потока в каждой ячейке трёхмерной сетки из 116000 элементов. В частности, были решены уравнения, описанные ниже.

Уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV + \oint_V [\rho v] \cdot dA = \int_V H_m dV, \quad (1)$$

где t – время, с; ρ – плотность, кг/м³; v – скорость, м/с; V – объём, м³; A – площадь, м²; H_m – производство массы в системе, кг/(м³·с).

Уравнения сохранения импульсов для трёх координат (i, j, k):

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho u dV + \oint_V [\rho v u + p \hat{i} - \tau_{xi}] \cdot dA = \int_V H_{pu} dV, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho v dV + \oint_V [\rho v v + p \hat{j} - \tau_{yi}] \cdot dA = \int_V H_{pv} dV, \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho w dV + \oint_V [\rho v w + p \hat{k} - \tau_{zi}] \cdot dA = \int_V H_{pw} dV, \quad (4)$$

где u, v, w – проекции скорости на координатные оси x, y, z , м/с; i, j, k – орты прямоугольной системы координат; p – давление, Па; H_p – проекции производства момента на оси x, y, z , кг/(м·с)²; τ_i – проекции тензора вязких напряжений на оси x, y, z , кг/(м·с²).

Турбулентность описывалась с помощью модели RNG k - ε . Данная модель была получена из стандартной модели k - ε с помощью статистического метода группы перенормировок. По сравнению со стандартной моделью k - ε , она более точно описывает турбулентность

резко деформирующихся и закрученных потоков [7, 8].

Полученные режимные точки были сопоставлены с характеристикой, рассчитанной по аналитической модели (рис. 2) [4].

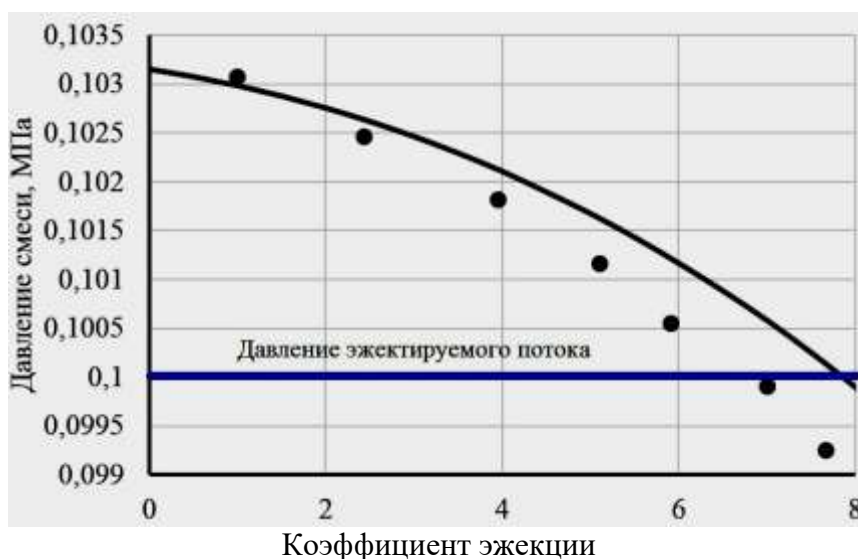


Рис. 2. Характеристика эжектора для испытаний на холодных газах
Кривая – расчёт по [4], точки – результаты расчёта в AnsysFluent [5, 6]

Из анализа результатов двух расчётов видно, что обе характеристики хорошо согласуются в рабочем диапазоне при коэффициентах эжекции в интервале от 0 до 4. При более высоких коэффициентах эжекции, когда приращение давления выходного потока относительно эжектируемого становится значительно меньше.

Таким образом, реализуемые в среде AnsysFluent [5, 6] методы вычислительной гидрогазодинамики могут весьма успешно применяться при моделировании режимов работы эжекторов для рециркуляции анодных газов в энергоустановках на твёрдооксидных топливных элементах. Расчёты показали, что в интервале коэффициентов эжекции от 0 до 3 приращение давления выходного потока относительно эжектируемого будет выше 200 мм водяного столба, что важно при выборе измерительных приборов для проведения испытаний на газах при комнатной температуре.

Список использованных источников

1. Desevaux P., Bouhangel A., Gavignet E. Flow Visualization in Supersonic Ejectors Using Laser Tomography Techniques // Int. J. of Refrigeration. 2010. Vol. 34. P. 1633–1640.

2. He S., Li Y., Wang R. Z. Progress of Mathematical Modeling on Ejectors. *Renew // Sustain. Energy Rev.* 2009. Vol. 13. P. 1760–1780.
3. Gnani F., Zare-Behtash H., Kontis K. Pseudo-shock Waves and their Interactions in High-speed Intakes // *Progress in Aerospace Sciences.* 2016. Vol. 82. P. 36–56.
4. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. 3-е изд., пер. М. : Энергоатомиздат, 1989. 352 с.
5. САЕ-система ANSYS [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ansys.com/> (дата обращения 07.02.2017).
6. Денисов М. А. Разработка учебно-справочного комплекса проектного моделирования в пакете ANSYSWorkbench // *Создание высокоэффективных производств на предприятиях горно-металлургического комплекса.* – Екатеринбург : Уральский рабочий, 2013. С. 95–96.
7. Mazzelli F., Little A. B., Garimella S., Bartosiewicz Y. Computational and Experimental Analysis of Supersonic Air Ejector: Turbulence Modeling and Assessment of 3D Effects // *Int. J. of Heat and Fluid Flow.* 2015. Vol. 56. P. 305–316.
8. Bartosiewicz Y., Zine Aidoun, Desevaux P., Yves Mercadier. Numerical and Experimental Investigations on Supersonic Ejectors // *Int. J. of Heat and Fluid Flow.* 2005. Vol. 26. P. 56–70.

УДК 633.1:631.563.2

ПЕРСПЕКТИВЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ СУШКЕ ЗЕРНА

THE PROSPECTS OF REDUCING ENERGY COSTS WHEN DRYING GRAIN

Дегтярева Д. И., Низамутдинов Р. Ж., Круглов Г. А.
Южно-Уральский государственный аграрный университет,
г. Челябинск. degtdarya@yandex.ru

Degtyareva D. I., Nizamutdinov R. J., Kruglov G. A.
South Ural State Agro University, Chelyabinsk

Аннотация: В работе проанализированы способы сушки сельскохозяйственной продукции, представлен способ сушки с использованием теплового насоса, показаны преимущества этого способа.